

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GEORGIA BASCHEROTTO KLEINA

**BIOMASSA MICROBIANA E CARBONO MINERALIZÁVEL NO SOLO EM
SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

CURITIBA

2017

GEORGIA BASCHEROTTO KLEINA

**BIOMASSA MICROBIANA E CARBONO MINERALIZÁVEL NO SOLO EM
SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes

Co-orientadores: Prof. Dra. Claudete Reisdorfer Lang
Prof. Dra. Glaciela Kaschuk
Prof. Dr. Jeferson Dieckow
Prof. Dr. Leonardo Deiss

CURITIBA

2017

K64 Kleina, Georgia Bascherotto
Biomassa microbiana e carbono mineralizável no solo em
sistemas integrados de produção agropecuária / Georgia
Bascherotto Kleina. Curitiba: 2017.
59 f.; il.

Orientador: Anibal de Moraes
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.
Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós - Graduação em
Agronomia - Produção Vegetal.

1. Biomassa microbiana. 2. Pecuária - Lavoura - Integração.
3. Solo. I. Moraes, Anibal de. II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências
Agrárias. Programa de Pós - Graduação em Agronomia - Produção Vegetal. III.
Título.

CDU 631.8



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós-Graduação AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL)

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **GEORGIA BASCHEROTTO KLEINA** intitulada: **BIOMASSA MICROBIANA E CARBONO MINERALIZÁVEL NO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 07 de Julho de 2017.

ANIBAL DE MORAES

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

GLACIELA KASCHUK

Avaliador Externo (UFPR)

REUBEN MARK SULC

Avaliador Externo (OSU)

CLAUDETE REISDÖRFER LANG

Avaliador Externo (UFPR)

Aos meus amados pais, Jorge e Celina,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus e ao meu anjo da guarda, por sempre iluminarem e guiarem os meus passos.

Aos meus pais, Jorge e Celina, pelo amor incondicional e por acreditarem em mim, sempre me dando forças para trilhar o meu caminho. Amo vocês com todo o meu coração!

Ao meu irmão Elias, pela sua proteção, carinho e amor em todos os momentos da minha vida. Te amo!

À minha amada cunhada Heloisa, pelos seus conselhos e palavras de motivação, e sobretudo à sua amizade sincera.

À minha prima Vivi, por sua alegria e cumplicidade de irmã.

Ao meu tio Maurílio, por ter elaborado a ferramenta desse trabalho com muito capricho.

Às minhas amigas Dagna, Daniela, Deborah, Heloisa e Renata, por estarem ao meu lado compartilhando as alegrias e ofertando o seu apoio nos momentos difíceis.

À Graça Deiss, por acompanhar toda a minha trajetória, sempre apoiando os meus sonhos.

À Thayane, pelas suas palavras nas fases mais importantes da minha vida, que me fizeram entender que sou capaz de tudo. Minha gratidão eterna.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Anibal de Moraes, pelos ensinamentos, amizade e por acreditar no meu potencial. Também aos meus co-orientadores Prof. Dra. Claudete Reisdorfer Lang, Prof. Dra. Glaciela Kaschuk, Prof. Dr. Jeferson Dieckow e Prof. Dr. Leonardo Deiss, pelas discussões e conhecimentos que foram fundamentais para execução desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Reuben Mark Sulc da Ohio State University (OSU), pela sua presença e contribuições na banca examinadora.

À minha colega Rubia Luciane Dominschek Lima, pelas suas contribuições durante a realização deste trabalho e na banca de pré-defesa.

Aos meus colegas da pós-graduação PGAPV-UFPR, Breno Menezes de Campos, Daniela Maria Martin, Gilmar Paulino Triches, Gustavo Henrique

Padilha, Leonardo Deiss, Leonardo Silvestri Szymczak, Luciani Neves, Mauricio Schuster, Newton Costa Jr., Rafael Araújo Bonatto, Rafaela Strapasson Vasselai, Renata Moraes, Rubia Luciane Dominschek Lima, Silvano Kruchelski e Thales Baggio Portugal, por toda colaboração, ajuda e amizade.

Aos colegas da PPG-UFPR, Aline Fachin Martini, Caroline Amadori, Etienne Winagraski, Jessica Pereira, Pedro Henrique Riboldi Monteiro, Priscila Simon e Tatiana Lazeris, pelo auxílio nas análises de laboratório.

Aos estagiários do grupo, em especial à Natalia Mitroszewski, pela ajuda em todas as etapas deste trabalho.

Aos servidores da UFPR, em especial à Lucimara Antunes da coordenação da PGAPV, e às técnicas Fabiana Gavelaki do laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Letícia Gonçalves do laboratório de Biologia do Solo e Maria Emília Kudla do laboratório de Fitotecnia.

À Fundação da Universidade Federal do Paraná (FUNPAR), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho. Obrigada!

RESUMO

Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) podem promover a sustentabilidade dos sistemas de produção e mitigar danos causados ao meio ambiente, pois influenciam a manutenção e melhoram a qualidade do solo. Considerando a importância das funções da microbiota do solo para desenvolvimento de sistemas mais sustentáveis, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes níveis de complexidade de SIPA e sistemas especializados de lavoura e pecuária sobre a biomassa e atividade da comunidade microbiana do solo. O estudo foi conduzido na área experimental do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), localizado na Estação Experimental do Canguiri, Pinhais, Paraná. As avaliações do C da biomassa microbiana do solo (C-BM), fluxo de CO₂, C mineralizado acumulado, C orgânico total (COT), N total (NT), estoque de COT (ECOT) e quociente metabólico (qCO₂) e microbiano (q_{mic}) foram realizadas em amostras de solo, coletadas nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm, de 4 tratamentos: Lavoura (L), Pecuária (P), Lavoura-Pecuária (LP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (LPF). As amostras foram feitas durante o ano agrícola de 2016/2017 em 3 momentos: 1) antes da semeadura do milho, no estágio de grão leitoso da aveia preta, 2) estágio reprodutivo do milho (R1) e 3) no final do ciclo do milho (R6). As análises estatísticas foram realizadas em delineamento fatorial simples, considerando tratamento e tempo como fatores. Os diferentes sistemas afetaram a capacidade de mineralização e reservatório lábil de nutrientes do solo de forma consistente ao longo do tempo. O sistema L apresentou maiores quantidades de COT e ECOT na 1^o e 2^o camada do solo e de NT na camada de 5-10 cm, juntamente com os sistemas P e LP, podendo indicar ação positiva das forrageiras e do pastejo na manutenção da matéria orgânica do solo (MOS). Entretanto, o LPF levou à redução dos teores de COT e ECOT em relação ao L. Os valores de C-BM e fluxo de CO₂ do solo indicaram que os micro-organismos não responderam aos efeitos dos tratamentos sobre a MOS. O conteúdo mais elevado de C mineralizado acumulado no L aponta maior potencial de mineralização de nutrientes no solo ao longo do tempo nesse sistema. Com isso, o menor qCO₂ e aumento do q_{mic} no solo no LPF indicam que os sistemas de produção mais complexos (LPF) tendem a melhorar a utilização do C orgânico do solo, promovendo, a longo prazo, melhor qualidade do solo, o que contribui para a sustentabilidade das atividades agrícolas.

Palavras-chave: Sustentabilidade, atividade microbiana, Integração Lavoura-Pecuária, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

ABSTRACT

Integrated Crop Livestock Systems (ICLS) may promote the sustainability of the production systems and reduce the damage in the environment by maintaining and improving soil quality. Considering the fundamental function of soil microbiota for the systems sustainability development, we aimed to study the effect of different complexity levels of integrated crop-livestock systems and specialized crop and livestock systems on soil microbial biomass and its functionality. The study was performed at Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA) experiment, at the Canguiri Experimental Farm, Pinhais, Parana. Soil samples were collected at depths of 0-5 cm and 5-10 cm in 4 treatments: Sole-Cropping (C), Livestock (L), Crop-Livestock (CL) and Crop-Livestock-Forestry (CLF). We determined the soil microbial biomass carbon (MB-C), flush of CO₂, cumulative C mineralized, total organic C (TOC), total N (TN), stock of TOC (STOC), metabolic quotient (qCO₂) and microbial quotient (q_{mic}). Soil samplings were collected during 3 moments of 2016 and 2017 years: 1) before maize planting or during oats milky stage, 2) during maize reproductive stage (R1), and 3) during maize final cycle (R6). The statistical analyses were performed in factorial design considering treatment and time as factors. Different systems affect the seasonal capacity of soil nutrient mineralization and labile reservoir in a same way with time. The C system presented higher amounts of TOC and STOC in the 1st and 2nd soil depth and TN in the 5-10 cm depth, along with L and CL systems, which may indicate positive action of forage and grazing in soil organic matter (SOM). However, the CLF system had a reduction in the contents of these variables when compared to the C system. The results of MB-C and flush of CO₂ indicated that soil microorganisms were not sensitive to the effect of treatments on SOM content. The higher content of cumulative C mineralized in C system indicates greater potential of nutrient mineralization in soil over time. The lower qCO₂ and the higher q_{mic} under CLF system indicates that systems with more complexity levels are better users of soil organic C for biomass accumulation and nutrient release, promoting environment quality and system stability, which contributes to the sustainability of agricultural activities.

Key-words: Sustainability, microbial activity, integrated crop-livestock-forestry systems.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –	CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA (NITA), LOCALIZADA NA FAZENDA EXPERIMENTAL DO CANGUIRI DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, PINHAIS - PARANÁ.	24
FIGURA 2 –	PONTOS DE AMOSTRAGEM NA ÁREA EXPERIMENTAL DO NITA, FAZENDA CANGUIRI DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, PINHAIS – PARANÁ	28

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO LAVOURA (L), PECUÁRIA (P), LAVOURA-PECUÁRIA (LP) E LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (LPF) NA PROFUNDIDADE DE 0 A 25 cm, EM OUTUBRO DE 2016. (EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS – PARANÁ)25
TABELA 2 -	HISTÓRICO DE CULTIVO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO LAVOURA (L), LAVOURA-FLORESTA (LF), PECUÁRIA (P), PECUÁRIA-FLORESTA (PF), LAVOURA-PECUÁRIA (LP) E LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (LPF) DO EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS - PARANÁ. 25
TABELA 3 -	CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT), NITROGÊNIO TOTAL (NT) E ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO (ECOT) DO SOLO EM FUNÇÃO DOS SISTEMAS PRODUÇÃO LAVOURA (L), PECUÁRIA (P), LAVOURA-PECUÁRIA (LP) E LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (LPF) EM DIFERENTES MOMENTOS DE COLETA NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm E 5-10 cm. (EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS - PARANÁ) 33
TABELA 4 –	CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA (C-BM), FLUXO DE CO ₂ DO SOLO (AOS 3 DIAS), E C MINERALIZADO ACUMULADO (24 DIAS) EM FUNÇÃO DOS SISTEMAS PRODUÇÃO LAVOURA (L), PECUÁRIA (P), LAVOURA-PECUÁRIA (LP) E LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (LPF) EM DIFERENTES MOMENTOS DE COLETA NA

PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm E 5-10 cm. (EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PARANÁ) 36

TABELA 5 – RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO (C/N) DO SOLO, QUOCIENTE METABÓLICO (q_{CO_2}) E MICROBIANO (q_{mic}) EM FUNÇÃO DOS SISTEMAS PRODUÇÃO LAVOURA (L), PECUÁRIA (P), LAVOURA-PECUÁRIA (LP) E LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (LPF) EM DIFERENTES MOMENTOS DE COLETA NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm E 5-10 cm. (EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PARANÁ) 37

LISTA DE SIGLAS

APA	–	Área de Proteção Ambiental
BM	–	Biomassa Microbiana
C-BM	–	Carbono da Biomassa Microbiana do Solo
COT	–	Carbono Orgânico Total
ECOT	–	Estoque de Carbono Orgânico Total
F	–	Floresta
L	–	Lavoura
LF	–	Lavoura-Floresta
LP	–	Lavoura-Pecuária
LPF	–	Lavoura-Pecuária-Floresta
MOS	–	Matéria Orgânica do Solo
NITA	–	Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária
NT	–	Nitrogênio Total
P	–	Pecuária
PF	–	Pecuária-Floresta
qCO ₂	–	Quociente Metabólico
q _{mic}	–	Quociente Microbiano
SIPA	–	Sistemas Integrados de Produção Agropecuária

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO	16
2.2 ATIVIDADE MICROBIANA NO SOLO	17
2.3 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	19
2.4 MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO NOS DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	23
3.1.1 Histórico dos tratamentos	25
3.2 AMOSTRAGEM DO SOLO	27
3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS DO SOLO	28
3.3.1 Preparo do solo	28
3.3.2 Carbono da biomassa microbiana	28
3.3.3 Fluxo de CO ₂ e carbono mineralizado acumulado	29
3.3.4 Carbono orgânico total, nitrogênio total e estoque de carbono orgânico total	30
3.3.5 Quocientes metabólico e microbiano do solo	31
3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 ATRIBUTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	32
4.2 ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO	35
5 CONCLUSÕES	40
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICES	51

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda da população por alimentos, fibras e energia estimulou a simplificação e intensificação dos sistemas de produção, de forma que os sistemas passaram a empregar irracionalmente os recursos naturais. O problema é que, em geral, as estratégias adotadas impactaram negativamente o meio ambiente e, por isso, tem se tornado inaceitáveis pela sociedade moderna.

Novos modelos de produção são necessários para promover a produtividade dos sistemas e ao mesmo tempo minimizar e prevenir os danos ambientais. Nesse sentido, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), aliados a práticas conservacionistas do solo, como o plantio direto, surgem como alternativas de intensificação sustentável da produção de alimentos, fibras e energia.

Os SIPA abrangem interações entre produção animal e vegetal, planejadas para otimizar a sinergia entre seus componentes (planta-solo-animal-atmosfera), o que promove os processos ecossistêmicos e, portanto, contribuem para sistemas mais sustentáveis. Dessa forma, o aumento da diversidade e das interações, promovido pela elevação do nível de complexidade, tem como objetivo aproximar os SIPA à estabilidade de sistemas naturais e reduzir a necessidade de insumos externos para manutenção dos sistemas.

Enquanto a adoção de sistemas mais sustentáveis é uma exigência ideológica em áreas agrícolas, é uma questão obrigatória em Áreas de Proteção Ambiental (APA's). Por isso, a otimização da sinergia resultante das interações entre componentes dos SIPA torna-se de maior importância em APA's, pois pode garantir a produtividade e sustentabilidade dos sistemas estabelecidos em áreas onde não é permitido o uso de defensivos agrícolas.

Os micro-organismos do solo exercem funções na manutenção dos processos ecossistêmicos e contribuem para a qualidade do solo e sustentabilidade ambiental. Entre as diversas funções, a microbiota do solo é responsável pela ciclagem de nutrientes no sistema, sendo a sua biomassa também um potencial reservatório de nutrientes às plantas. Portanto, uma das formas para alcançar a sustentabilidade agrícola é o emprego de sistemas de produção que maximizam as atividades da microbiota no solo.

As diferentes composições de SIPA e os sistemas especializados podem promover alterações na comunidade microbiana e no seu funcionamento devido ao nível de complexidade de cada sistema, o que resulta em sistemas com maior ou menor grau de estabilidade. Portanto, este estudo testou a hipótese de que o aumento no nível de complexidade dos sistemas de produção envolvendo lavoura, pecuária e floresta, favorece a sinergia entre seus componentes, resultando no maior aporte de matéria orgânica do solo (MOS) e, assim, incrementando a biomassa e atividade microbiana do solo.

A fim de testar tal hipótese, objetivo foi avaliar o efeito dos diferentes níveis de complexidade de SIPA e sistemas especializados de lavoura e pecuária sobre a biomassa da comunidade microbiana do solo e seu funcionamento. Os objetivos específicos foram: 1) Avaliar o efeito sazonal dos diferentes sistemas de produção (lavoura, pecuária, lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta) sobre o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BM) e a atividade e eficiência dos micro-organismos; 2) Avaliar o efeito do aumento do nível de complexidade dos sistemas de produção no acúmulo de MOS e C-BM, na atividade e eficiência dos micro-organismos do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO

A biomassa microbiana (BM) do solo representa entre 1 e 3% da MOS (JENKINSON; LADD, 1981; SPARLING, 1992). A BM é constituída basicamente por organismos menores que $5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^3$ (e.g. bactérias, fungos, protozoários) (JENKINSON; LADD, 1981) e mesmo compreendendo pequena fração da MOS, a BM exerce importante função na ciclagem de nutrientes no ecossistema (CHENG et al., 2013), servindo de fonte (i.e. mineralização) e dreno (i.e. imobilização) de nutrientes às plantas, pois catalisam os processos de transformações desses nutrientes no solo (DWIVEDI; SONI, 2011).

No processo de decomposição da MOS, a BM degrada substratos orgânicos para obter nutrientes e produzir energia que serve à formação e desenvolvimento de suas células. Durante o crescimento, a BM do solo imobiliza temporariamente nutrientes em sua estrutura. Dessa forma, a BM se torna um compartimento de reserva e pode liberar e disponibilizar os nutrientes às plantas após a sua morte e decomposição (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008). Além disso, o excesso de nutrientes inorgânicos liberados pela decomposição da MOS também é disponibilizado para a nutrição vegetal (DWIVEDI; SONI, 2011).

De fato, um estudo constatou que micro-organismos podem aumentar a disponibilidade de nutrientes às plantas pelo processo de mineralização direto da MOS, como também indiretamente, através do retorno dos nutrientes inicialmente imobilizados na BM, disponibilizados quando a mesma BM torna-se substrato à medida que a fonte primária de carbono (C) se esgota (MALIK et al. 2013).

A presença de C lábil no solo representa fonte de C prontamente disponível para a decomposição microbiana. Dessa forma, a BM está fortemente relacionada à quantidade e qualidade da MOS (KAUR et al., 2000; ZHANG et al., 2005). Nesse sentido, resultados de diversos trabalhos mostraram a influência positiva da adição de resíduos orgânicos no solo na BM (ARAÚJO; MELO, 2010). Além disso, comparando diferentes sistemas de manejo do solo, o sistema de plantio direto, considerado com maior aporte de MOS, teve um

aumento de 35% do C e 23% do nitrogênio (N) da BM em relação à um sistema convencional (BABUJIA et al., 2010).

A influência da MOS na BM também acontece em profundidade no solo. Como a concentração de C orgânico reduz no perfil do solo, os microrganismos investem mais C e N como fonte de energia para aquisição de substrato, o que diminui a utilização dos nutrientes para o crescimento microbiano. Além disso, em profundidade os microrganismos podem ter menos energia para produzir enzimas que decompõe compostos orgânicos, o que também reduz a taxa de decomposição em maiores profundidades (SPOHN et al., 2016).

Dada a importância da BM no ecossistema e considerando que os estoques de C e N da BM são mais sensíveis do que o C orgânico do solo às mudanças no ambiente (e.g. diferentes sistemas de produção), a BM é considerada indicador prévio das alterações na ciclagem de nutrientes e dinâmica da MOS (BABUJIA et al., 2010; McDANIEL et al., 2014).

Além disso, a relação entre o C da BM e o C orgânico do solo (i.e. quociente microbiano; q_{mic}) (SPARLING, 1992) também pode ser utilizada para avaliação da qualidade do solo (CUNHA et al., 2011), pois reflete a eficiência de conversão do C do solo em C microbiano (BARRETO et al., 2008). Assim, o aumento nos valores de q_{mic} podem indicar menor grau de perturbação do ambiente (KASCHUK et al., 2010; BALOTA; CHAVES, 2011).

2.2 ATIVIDADE MICROBIANA NO SOLO

A atividade microbiana reflete os processos realizados pelos microrganismos do solo. A decomposição da MOS é controlada pela atividade da BM e libera N e outros nutrientes à solução do solo, aproveitados pelas plantas. Como as plantas absorvem exclusivamente nutrientes inorgânicos, tornam-se dependentes dos microrganismos do solo para mineralizar nutrientes orgânicos que serão utilizados no crescimento e desenvolvimento vegetal (CHEN et al., 2003).

A atividade dos micro-organismos do solo é dependente de fonte de energia e C, obtida principalmente pela decomposição da MOS (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). A adição de C abaixo da superfície do solo é tão importante aos micro-organismos quanto a adição sobre a superfície, em que raízes vivas

e mortas fornecem substratos prontamente disponíveis para a atividade microbiana transformar os nutrientes e alterar a estrutura do solo (HINSINGER et al. 2009).

Aproximadamente 40% do C fixado fotossinteticamente pelas plantas é alocado no solo através da rizodeposição. Assim, os compostos orgânicos exsudatos pelas raízes servem como nutrientes para a biota do solo e estimulam a alta atividade dos microrganismos na rizosfera (GROVER et al., 2015).

A atividade microbiana pode ser definida pela quantificação do C mineralizado, determinada pela captura do dióxido de carbono (CO_2) liberado do solo enquanto a BM do solo decompõe a MOS (i.e. fluxo de CO_2 ; evolução de CO_2) (ANDERSON; DOMSCH, 1978; FRANZLUEBBERS; HANEY, 2006). O fluxo de CO_2 do solo reflete a capacidade funcional do solo em ciclar nutrientes, decompor compostos orgânicos e catalisar e estabilizar processos ecossistêmicos através das interações entre a diversidade de organismos (FRANZLUEBBERS, 2016).

O fluxo de CO_2 apresenta forte correlação com a biomassa microbiana e mineralização de N no solo (FRANZLUEBBERS et al. 2000; FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2003). Por exemplo, como as dinâmicas de N e C estão fortemente relacionadas, o déficit de N pode ser explicado pela redução no C prontamente mineralizável (McGILL; CHRISTIE, 1983).

Assim, a atividade microbiana determinada pelo fluxo de CO_2 do solo está relacionada à mineralização de nutrientes. Por exemplo, constatado por um estudo em que a mineralização do C resulta na mineralização dos nutrientes N e P no solo (HANEY et al. 2008). A taxa de retorno de nutrientes pela BM pode ser acelerada quando fatores da comunidade microbiana estão relacionados, como a alta respiração específica, constante concentração de BM e crescente produção diária de carbono da BM (HAGERTY et al., 2014).

Entretanto, a interpretação da atividade microbiana do solo medida a partir do C mineralizado deve ser feita com cautela. A elevação nas taxas de fluxo de CO_2 pode indicar alta produtividade do ecossistema ou mostrar condições indesejáveis, com perdas de C orgânico do solo para a atmosfera em longo prazo (SILVA et al., 2007).

Isso justifica o uso do quociente metabólico (taxa de respiração específica; $q\text{CO}_2$) como parâmetro para demonstrar a eficiência de utilização das

fontes de C pela BM, sendo assim um importante indicador da condição metabólica da comunidade microbiana (PEREIRA et al., 2013). O qCO_2 é estimado pela razão da atividade microbiana em relação à BM (i.e. quantidade de CO_2 produzida por unidade de C da BM) (ANDERSON; DOMSCH, 1989; CAMPBELL et al., 1991).

Dessa forma, valores elevados de qCO_2 podem indicar maior necessidade de energia para manutenção dos micro-organismos e menos energia para a produção de BM (NICODEMO, 2009). Portanto, isso reflete em um ambiente com maior grau de estresse para o funcionamento dos micro-organismos (ANDERSON; DOMSCH, 1989).

2.3 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A MOS é considerada componente regulador do solo, pois afeta diretamente os seus atributos físicos, químicos e biológicos (CHIVENGUE et al., 2007; ANGHINONI et al., 2013), além de fornecer energia e substrato aos micro-organismos, auxiliar na preservação da qualidade do solo e na funcionalidade do ecossistema (GUIMARÃES et al., 2013). Por isso, a MOS é apontada como indicador ideal para avaliar a qualidade do ambiente edáfico (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A adição de matéria orgânica na superfície do solo contribui para a atividade biológica e o processo de ciclagem de C e nutrientes no solo (BOT; BENITES, 2005). A MOS constitui uma reserva importante de nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S), e sua decomposição supre uma fração considerável desses nutrientes às plantas (TIESSEN et al. 1994).

A decomposição da MOS, que acarreta em níveis de liberação de CO_2 e nutrientes, é dependente principalmente das características intrínsecas desses resíduos, como por exemplo, a composição química (e.g. relação C/N, teores de carboidrato, lignina) e o grau de agregação destes com as partículas do solo. Fatores externos, como as características do solo (e.g. pH, teores de nutrientes e umidade) e do ambiente (e.g. temperatura e precipitação), considerados por afetar a atividade biológica, também influenciam na degradação do material orgânico (LOSS et al., 2013).

Quando os solos são submetidos a diferentes usos e tipos de manejo podem sofrer alterações na quantidade e qualidade do C e N orgânico do solo (WENDLING et al., 2010), principais elementos que compõe a MOS. Dessa forma, um aumento direto na produtividade dos sistemas pode ser observado em resposta ao acréscimo no conteúdo de C no solo pela adoção de diferentes práticas de manejo (PRIYANKA; ANSHUMALI, 2016). O C e N orgânico do solo refletem o nível de fertilidade do solo (GE et al., 2013), e por isso o conhecimento do estoque de C e N ajuda a compreender a qualidade do solo e a gestão sustentável do seu uso.

O C e N orgânico do solo são balanceados de acordo com taxas de entrada e saída no sistema. A entrada ocorre por meio da adição de resíduos vegetais e, ou, animais (SOUZA et al., 2009; COTRUFO et al., 2015) e a saída pela decomposição dos mesmos, pela exportação dos produtos de origem animal e vegetal e pelas perdas de solo por erosão hídrica e eólica.

O contínuo e rápido ciclo de vida da BM também promove o acúmulo de MOS, pois pode produzir, ao longo do tempo, um conteúdo considerável de necromassa no solo, considerada constituinte chave da fração mais estável da MOS. A necromassa microbiana e outros produtos da BM podem ser preservados através de interações com minerais do solo e incorporações nos agregados, contribuindo para os estoques de C orgânico do solo. Dessa forma, mudanças no crescimento, desenvolvimento e retorno da BM podem influenciar o acúmulo de C orgânico no solo, pois interferem no conteúdo de BM disponível para estabilização (KALLENBACH et al., 2015).

2.4 MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO NOS DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Comparando diferentes sistemas de produção, as concentrações do C orgânico do solo e seu estoque foram maiores em sistemas com pastejo animal (i.e. SIPA e sistema de pastagem permanente) do que no sistema convencional e de plantio direto de lavoura, indicando a pastagem como contribuinte para o aumento da MOS (SALTON et al., 2014).

De forma geral, espécies forrageiras produzem maior teor de massa seca e, assim, acumulam mais C em sua fitomassa do que as culturas agrícolas

(LOSS et al., 2013). Além disso, o pastejo moderado da pastagem favorece ciclos de rebrota da forrageira e proporciona o acúmulo de C na massa vegetal (CARVALHO et al., 2011).

Em outro trabalho, os SIPA com pastejo no inverno apresentaram maiores teores de MOS, tanto na superfície quanto em profundidade, do que em áreas não pastejadas (i.e. sistemas apenas de lavoura) (MORAES et al., 2011). Esse maior aporte de MOS nas áreas de pastejo manejadas adequadamente pode ser promovido pelo maior crescimento do sistema radicular da pastagem e da cultura agrícola de interesse comercial (SOUZA et al., 2009). Além disso, o acúmulo de MOS também pode ser promovido através do incremento na exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes das forrageiras (ANGHINONI et al., 2013).

Para que sistemas de pastagem ou que integram o pastejo animal a outro componente apresentem efeito positivo na qualidade do solo, o manejo adotado durante o pastejo deve garantir a quantidade ideal de material orgânico no solo (NICOLOSO et al., 2008). Nesse sentido, a intensidade de pastejo imposta resultará em estoques de carbono orgânico e nitrogênio diferenciados (SOUZA et al., 2009; MORAES et al., 2011). Dessa forma, em um estudo foi constatado que a elevada intensidade de pastejo (i.e. 10 cm) levou a perda de 1,17 Mg ha⁻¹ de N, devido à degradação da MOS (ASSMANN et al., 2014).

No caso de sistemas contendo apenas lavoura, a simples adoção de uma ou mais culturas em rotação pode elevar o C orgânico e N total do solo em 3,6% e 5,3%, respectivamente. As rotações que também incluem plantas de cobertura apresentam potencial ainda maior e podem aumentar o C e N totais em 8,5% e 12,8%, respectivamente (McDANIEL et al., 2014).

O C derivado das raízes tem maior probabilidade de se estabilizar no solo quando do que aquele originado do dossel vegetal, devido às interações físico-químicas entre o sistema radicular e as partículas do solo (LORENZ; LAL, 2014).

As árvores possuem um sistema radicular extenso e podem explorar grandes profundidades do solo. Por isso, nos sistemas florestais ou que integram árvores, o C derivado das raízes pode se tornar fonte fundamental para manutenção do C orgânico no perfil do solo (KELL, 2012). As raízes também podem influenciar a população microbiana durante o ciclo das plantas através das rizodeposições e após a senescência radicular por integrarem a MOS (VENZKE FILHO et al., 2004).

Em SIPA, o pastejo moderado das forrageiras promove a intensa exsudação radicular de compostos orgânicos, fonte importante de energia e C para os micro-organismos do solo (MORAES et al., 2014). Assim, a maior adição de compostos orgânicos (pelos excrementos animais e resíduos vegetais), bem como, o aumento da rizosfera e a liberação de exsudatos (ANGHINONI et al., 2013) podem estimular o crescimento da microbiota do solo. Por exemplo, Chávez et al. (2011) constataram que o pastejo moderado da forrageira (i.e. 20 cm) contribuiu para maior diversidade e intensidade metabólica da comunidade microbiana do que a manutenção da forrageira no sistema sem a presença animal.

Em outro exemplo, o SIPA apresentou maior valor de C da BM do solo quando comparado ao sistema apenas de lavoura, porém o fluxo de CO₂ do solo não diferiu entre os sistemas (SILVA et al., 2015). No caso, o qCO₂ foi menor quando o pastejo foi moderado, indicando que sob esse manejo, a BM é mais eficiente no uso de compostos orgânicos e na incorporação do C na sua estrutura.

No caso de agroflorestas, a inclusão de diferentes culturas e da permanente cobertura do solo geralmente aumentam o acúmulo de MOS, o que pode incrementar a BM, pois permite maior diversidade e abundância de microrganismos no solo (ARAUJO et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

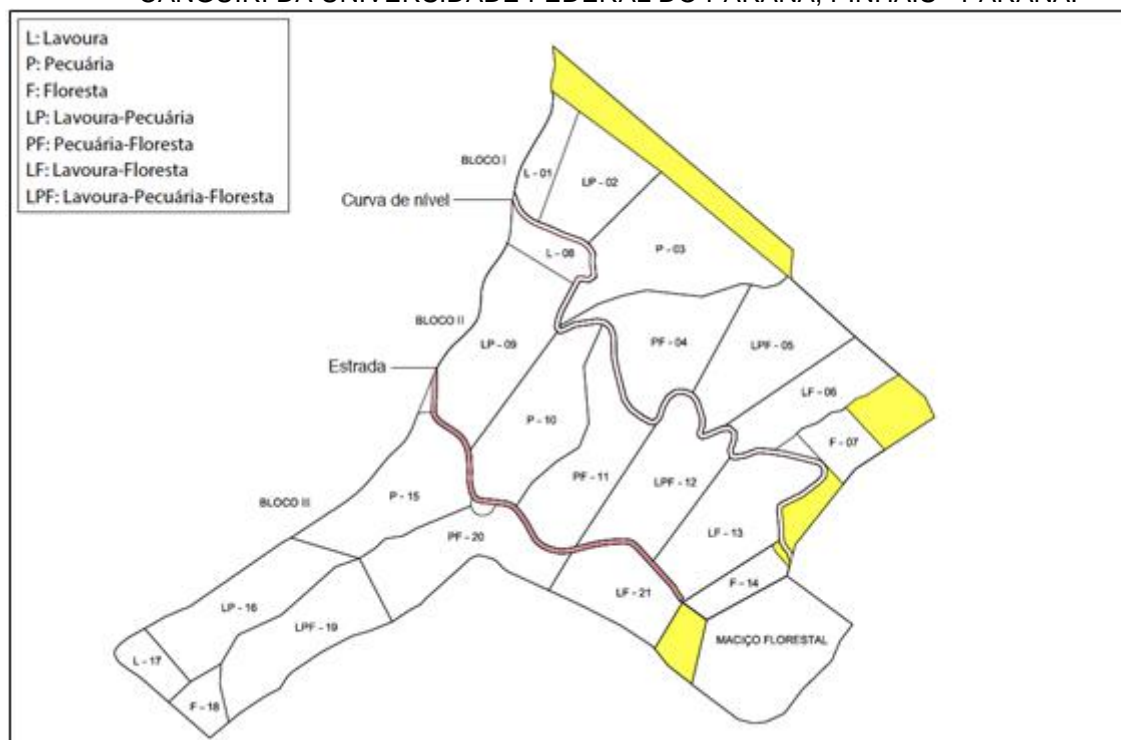
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O trabalho foi conduzido no experimento do Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), estabelecido no ano de 2012 em área pertencente à Estação Experimental do Canguiri, da Universidade Federal do Paraná, em Pinhais, estado do Paraná.

As coordenadas geográficas são 25°23'30"S de latitude e 49°07'30" W de longitude. O clima da região é caracterizado como tipo fundamental Cfb na classificação de Köppen, sem estação seca definida, com verões frescos, inverno moderado, precipitação média anual entre 1400 e 1600 mm, temperatura mínima média anual entre 17°C e 18°C, com geadas frequentes e severas.

O experimento do NITA possui aproximadamente 36 ha e foi desenvolvido com o objetivo de avaliar em longo prazo (>15 anos) a complexidade dos sistemas de produção. O experimento foi instalado sob delineamento de blocos ao acaso, com 7 tratamentos: Lavoura-Pecuária-Floresta (LPF), Lavoura-Pecuária (LP), Pecuária-Floresta (PF), Lavoura-Floresta (LF), Floresta (F), Lavoura (L) e Pecuária (P), e 3 repetições (FIGURA 1). Os blocos foram loteados de acordo com os divisores de águas e curva de nível divergente para evitar a interferência do escoamento superficial das águas e erosão do solo.

FIGURA 1 - CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA (NITA), LOCALIZADA NA FAZENDA EXPERIMENTAL DO CANGUIRI DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, PINHAIS - PARANÁ.



Antes da implantação do experimento, todas as unidades experimentais foram adubadas com 8 a 10 ton ha⁻¹ de lodo de esgoto tratado pelo processo N VIRO®, aplicado a lanço e posteriormente incorporado ao solo. Na sequência foi estabelecido a cultura de aveia preta (*Avena strigosa*), na densidade de 60 kg ha⁻¹, e adubação de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na linha de plantio.

A fertilidade do solo de cada unidade experimental foi corrigida após amostragem de solo na camada de 0 a 25 cm segundo a tabela de recomendação de adubação e calagem (CQFS-RS/SC, 2004). O mesmo nível de adubação é realizado em todos os tratamentos, tomando como base a cultura de maior exigência nutricional.

No ano de condução do presente estudo (2016/2017), todos os tratamentos receberam adubação de cobertura pós plantio da cultura da aveia preta (densidade 60 kg ha⁻¹) em maio/2016, sendo aplicados 300 kg ha⁻¹ de fosfato natural, 300 kg ha⁻¹ de ureia e 100 kg ha⁻¹ de KCl. Na primeira quinzena de outubro/2016 foi estabelecida a cultura do milho (*Zea mays*) em densidade de 110 mil plantas ha⁻¹. A cultura do milho foi adubada com 400 kg ha⁻¹ de uréia (CH₄N₂O) quando a mesma estava no estágio fenológico V2. A Tabela 1

apresenta os atributos químicos do solo dos sistemas durante o presente estudo (L, P, LP e LPF).

TABELA 1 – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO LAVOURA (L), PECUÁRIA (P), LAVOURA-PECUÁRIA (LP) E LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (LPF) NA PROFUNDIDADE DE 0 A 25 cm, EM OUTUBRO DE 2016. (EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PARANÁ).

SISTEMA DE PRODUÇÃO	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P
	(CaCl ₂)	(cmol _c dm ⁻³)					(mg dm ⁻³)
L	5,13	0,03	7,07	3,90	2,80	0,20	4,70
P	5,13	0,03	6,60	3,63	2,77	0,26	4,67
LP	5,07	0,07	7,97	3,60	2,77	0,19	4,37
LPF	5,17	0,00	6,27	3,53	2,60	0,22	4,03

3.1.1 Histórico dos tratamentos

A tabela 2 mostra o histórico de cultivo dos tratamentos da área experimental do NITA. Nas safras de inverno de 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, as áreas de L e LF foram cultivadas com aveia preta para cobertura no inverno; Nas safras de verão 2013/2014 e 2014/2015, foram cultivadas com milho e girassol (*Helianthus annuus*) e em 2015/2016, apenas a cultura do milho.

TABELA 2 – HISTÓRICO DE CULTIVO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO LAVOURA (L), LAVOURA-FLORESTA (LF), PECUÁRIA (P), PECUÁRIA-FLORESTA (PF), LAVOURA-PECUÁRIA (LP) E LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (LPF) DO EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PARANÁ.

SISTEMA DE PRODUÇÃO	SAFRA	ANO AGRÍCOLA			
		2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017
L	Inverno	Aveia preta	Aveia preta	Aveia preta	Aveia preta
LF	Verão	Milho/Girassol	Milho/Girassol	Milho	Milho
P	Inverno	Aveia preta	Aveia preta	Aveia preta*	Aveia preta*
PF	Verão	Capim Áries	Capim Áries	Capim Áries*	Capim Áries*
LP	Inverno	Aveia preta	Aveia preta	Aveia preta*	Aveia preta*
LPF	Verão	Capim Áries	Capim Áries	Capim Áries*	Milho

NOTA: * Ocorrência do pastejo animal.

Em todas as áreas com pecuária (P, LP, PF e LPF) foram semeadas no inverno com aveia preta. Entretanto, devido ao banco de sementes do solo, as pastagens de inverno também apresentaram azevém (*Lolium multiflorum*) e

trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.) de ressemeadura natural. No verão, as áreas para pastejo são compostas pelo capim áries (*Panicum maximum* cv. Áries), forrageira perene, estabelecida em 2013 a uma densidade de 20 kg ha⁻¹.

As áreas que integram lavoura e pecuária (LP e LPF) rotacionam três anos de pastejo o ano todo (pastejo de aveia preta no inverno e do capim áries no verão) e um ano com cultivo de aveia preta não pastejada no inverno e lavoura de milho no verão. O primeiro ciclo de pastejo ocorreu apenas nos anos de 2015/2016. Até então a aveia preta e o capim áries foram mantidos como culturas de cobertura.

As áreas que abrangem produção pecuária (P, PF, LP e LPF) receberam o primeiro lote de bezerros em setembro/2015 (com saída em março/2016). Os tratamentos P e PF são as áreas de pastejo contínuo durante todo ano e, por isso, receberam novamente os animais em julho/2016.

Em 2016/2017, as áreas com cultivos agrícolas (L, LF, LP, LPF) foram cultivadas com aveia preta para cobertura no inverno (semeado em maio/2016, a uma densidade de 60 kg ha⁻¹) e dois híbridos de milho, um precoce (30F53VYHR) e outro super-precoce (P2866H) no verão (semeados em outubro/2016).

Os sistemas LF, PF e LPF receberam o plantio de eucaliptos (*Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage) em arranjo espacial de linhas simples com espaçamento de 14,0 m entre linhas e 2,0 m nas linhas e densidade inicial de aproximadamente 357 árvores ha⁻¹. No caso do sistema F, o eucalipto foi instalado sob monocultura, em arranjo espacial de 3,0 m x 2,0 m e densidade inicial de 1667 árvores ha⁻¹. O plantio dos eucaliptos foi estabelecido em 2013. Portanto, no período de avaliação do presente trabalho as árvores tinham 3 anos de idade.

Nos sistemas com pecuária, a carga animal foi ajustada segundo a técnica *put and take* (MOTT; LUCAS, 1952). Nesta técnica, o pastejo é de lotação contínua com carga variável, permanecendo na área um número fixo de animais testes e um número variável de reguladores. Dessa forma, a lotação animal foi ajustada utilizando os animais reguladores para manutenção da altura de pastejo da aveia preta em 24 cm e do capim áries em 32 cm.

A área experimental está estabelecida na Área de Proteção Ambiental (APA) do Iraí (Decreto nº 2200) (PARANÁ, 2000). Por isso, nenhum dos tratamentos foi tratado com defensivos agrícolas.

3.2 AMOSTRAGEM DO SOLO

As amostras de solo foram coletadas em duas profundidades (0 a 5 cm e 5 a 10 cm) de 4 tratamentos (L, P, LP e LPF) em 3 momentos durante o ano agrícola de 2016/2017. Os momentos foram: 1) antes da semeadura do milho, no estágio de grão leitoso da aveia (setembro/2016), 2) estágio reprodutivo do milho (R1), no florescimento da cultura (janeiro/2017) e 3) no final do ciclo do milho (R6) (março/2017).

Os pontos foram pré-determinados considerando as regiões com teores homogêneos de C orgânico e profundidade do horizonte A do solo. Os mesmos foram georreferenciados e as amostragens foram realizadas nos mesmos locais nos 3 momentos de coleta.

Nossa equipe coletou 5 amostras de solo por camada em 3 pontos de cada unidade experimental (FIGURA 2), utilizando trado com volume conhecido (3,5 mm de diâmetro). Assim, cada unidade experimental foi representada por uma amostra composta por 15 subamostras.

FIGURA 2 – PONTOS DE AMOSTRAGEM NA ÁREA EXPERIMENTAL DO NITA, FAZENDA CANGUIRI DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, PINHAIS – PARANÁ.



3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS DO SOLO

3.3.1 Preparo do solo

Logo após cada amostragem, as amostras foram secas em estufa à 55°C durante 72 horas até massa constante. Posteriormente, as amostras foram homogeneizadas e passadas em peneira com 4,75 mm de abertura de malha. Raízes e impurezas foram retiradas manualmente.

3.3.2 Carbono da biomassa microbiana

O carbono da biomassa microbiana do solo (C-BM) foi estimado pelo método de fumigação-extração de Vance et al. (1987), com as modificações a seguir. Submostras de solos (20 g), re-umedecidas à 50% da capacidade de

campo com água deionizada, foram fumigadas com clorofórmio isento de álcool por período de 48 horas em caixa de fumigação acoplada à bomba de vácuo. Durante esse mesmo período, subamostras de solo (20 g), também reumedecidas, foram mantidas no escuro e em temperatura ambiente. As primeiras foram denominadas “amostras fumigadas” e as segundas “não fumigadas”.

Para extração do C do solo, as subamostras receberam 50 mL de solução extratora de sulfato de potássio (K_2SO_4 0,5M) e suspensas por agitação a 175 rpm em agitador orbital horizontal durante 60 minutos. Em seguida, as suspensões foram centrifugadas a 2500 rpm durante 10 minutos. Ao término, o extrato foi obtido por filtração em papel de filtração rápida (porosidade de 7,5 micras).

O C extraído do solo foi determinado por colorimetria em espectrofotômetro, utilizando uma alíquota de 0,5 mL do extrato. O C-BM foi determinado pela diferença de C encontrado das amostras fumigadas e não fumigadas, conforme a equação:

$$C-BM = (C \text{ fumigado} - C \text{ não fumigado}) K_C^{-1}$$

Onde: C-BM é o conteúdo de carbono da biomassa microbiana do solo ($mg \text{ kg}^{-1}$ solo); C fumigado representa a quantidade de carbono encontrada nas amostras fumigadas ($mg \text{ kg}^{-1}$ solo); C não fumigado representa a quantidade de carbono encontrada nas amostras não fumigadas ($mg \text{ kg}^{-1}$ solo); K_C é o fator de correção do C extraído em relação à massa de microrganismos do solo, considerado 0,41 (ANDERSON; DOMSCH, 1978; SAMPAIO et al., 1986).

3.3.3 Fluxo de CO_2 e carbono mineralizado acumulado

Para determinação do fluxo de CO_2 , subamostras de solo (50 g) reumedecidas à 50% da capacidade de campo foram acondicionadas em potes selados com papel filme, contendo um frasco com 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH 1,0 M), para capturar o CO_2 , e outro contendo 10 mL de água, para manter a umidade. Em seguida, as amostras foram incubadas no escuro à 25°C,

durante 24 dias. Os frascos contendo NaOH foram substituídos aos 3 e 10 dias após incubação, e a quantidade de CO₂ liberada foi determinada através da titulação das soluções de NaOH utilizando ácido clorídrico (HCl 1,0 M). Para proceder às titulações, foram adicionados às soluções de NaOH, 1 mL de cloreto de bário (BaCl₂ 1,5 M) e duas gotas de fenolftaleína. O C mineralizado acumulado foi estimado a partir do CO₂ liberado durante 24 dias, enquanto o fluxo de CO₂ é foi aquele liberado nos primeiros 3 dias. O controle foi estabelecido por um frasco sem solo submetido às mesmas condições dos frascos contendo a amostra de solo.

A quantidade de CO₂ liberado foi calculada pela equação:

$$C\text{-CO}_2 = \{(mL_{\text{branco}} - mL_{\text{amostra}}) \times N \text{ HCl} \times 6 \times 1000\} S^{-1}$$

Onde: C-CO₂ é a quantidade de CO₂ liberada do solo (mg kg⁻¹ solo); mL_{branco} é o volume de HCl gasto para titular o branco (mL); mL_{amostra} é o volume de HCl gasto para titular a amostra de solo incubada (mL); N HCl é a normalidade do HCl (1 mol L⁻¹); 6 é o valor do peso equivalente de carbono (6); 1000 é o valor conversão de g para kg; S é a massa de solo utilizada (g).

3.3.4 Carbono orgânico total, nitrogênio total e estoque de carbono orgânico total

Subamostras secas dos solos foram moídas em almofariz e passadas em peneira com 0,25 mm de abertura de malha. Em seguida, aproximadamente 35 mg das amostras de solo foram submetidas à medição de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) no instrumento de combustão a seca Vario EL III (Elementar Analysen systeme GmbH).

O Estoque de Carbono Orgânico Total (ECOT) nas diferentes camadas do solo foi calculado considerando a densidade do solo (razão entre a massa e volume de cada amostra), conforme a equação:

$$ECOT = (C \times Ds \times e)$$

Onde: ECOT é o estoque de carbono orgânico total em determinada profundidade (Mg ha^{-1}); C é o teor de carbono orgânico total (%); Ds é a densidade do solo em cada profundidade (g cm^{-3}); e representa a espessura da camada considerada (cm).

3.3.5 Quocientes metabólico e microbiano do solo

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi determinado pela razão do fluxo de CO_2 do solo pelo conteúdo de C-BM (ANDERSON; DOMSCH, 1993). O quociente microbiano (q_{mic}) foi determinado pela razão do conteúdo de C-BM e COT (SPARLING, 1992).

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os pressupostos de homogeneidade de variância, normalidade dos resíduos e aditividade dos blocos foram satisfeitos pelos testes de Levene, Kolmogorov-Smirnov (Ks) e de Tukey, respectivamente. As análises de variância foram realizadas sob delineamento fatorial simples, utilizando como fatores os sistemas de produção e momentos de coleta, em cada camada do solo. As diferenças entre médias foram discriminadas pelo teste de Tukey a $p < 0,05$. As análises foram realizadas utilizando o programa R Versão 3.4.0 (© 2014 The R Foundation for Statistical Computing).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo, nós testamos a hipótese que o aumento da complexidade dos sistemas de produção deve acumular mais MOS, o que promoveria maior conteúdo de C-BM e a atividade microbiana do solo. Entretanto, os dados mostraram que o C-BM e a atividade da comunidade microbiana não responderam ao conteúdo de MOS. Mesmo assim, o sistema de produção mais complexo (LPF) promoveu o acúmulo de resíduos de melhor qualidade no solo, o que estimulou uma melhor eficiência da atividade microbiana nesse sistema.

Os sistemas de produção nos seus diferentes níveis de complexidade (L, P, LP, LPF) afetaram os atributos da MOS (COT, NT e ECOT) e da comunidade microbiana (C-BM, fluxo de CO₂, C mineralizado acumulado, q_{mic} e qCO₂) de forma consistente ao longo do tempo. Esses resultados indicam que a biomassa da comunidade microbiana e seu funcionamento no solo dos sistemas não se modificaram com os diferentes momentos de coleta.

A análise de variância não detectou qualquer interação entre os sistemas de produção e momentos de coleta. Este é um ponto interessante, pois as variáveis medidas neste estudo são frequentemente utilizadas como indicadores de qualidade do solo sob diferentes manejos e sistemas. Isso significa que os dados deste estudo confirmam a utilidade dos parâmetros microbiológicos para avaliar a qualidade do solo nos diferentes sistemas (KASCHUK et al., 2010; BALOTA; CHAVES 2011).

4.1 ATRIBUTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Os teores de COT e ECOT do solo nas duas camadas analisadas e de NT na camada de 0-5 cm foram diferentes entre os sistemas de produção ($p < 0,05$) (TABELA 3), sendo o sistema L aquele com maiores quantidades, juntamente com os sistemas P e LP. É provável que os teores de COT, ECOT e NT nos sistemas de L, P e LP tenham sido afetados positivamente pelas forrageiras e pelo pastejo moderado (altura de pastejo de 24 e 32 cm da aveia preta e do capim áries, respectivamente).

TABELA 3 – CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT), NITROGÊNIO TOTAL (NT) E ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO (ECOT) DO SOLO EM FUNÇÃO DOS SISTEMAS PRODUÇÃO LAVOURA (L), PECUÁRIA (P), LAVOURA-PECUÁRIA (LP) E LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (LPF) EM DIFERENTES MOMENTOS DE COLETA NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm E 5-10 cm. (EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS - PARANÁ).

FONTE DE VARIAÇÃO	COT (g kg ⁻¹)		NT (g kg ⁻¹)		ECOT (Mg ha ⁻¹)	
SISTEMA	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm
L	47,35 a	36,82 a	3,28 a	2,39	25,29 a	25,07 a
P	42,77 ab	33,84 ab	2,99 ab	2,23	24,82 a	24,13 a
LP	43,13 ab	34,48 ab	2,96 ab	2,25	23,69 ab	24,19 a
LPF	38,41 b	32,19 b	2,75 b	2,22	21,14 b	21,65 b
COLETA	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm
1	44,85 a	34,11	2,83 b	2,29	27,41 a	26,52 a
2	43,93 a	34,71	3,12 a	2,29	22,80 b	22,94 b
3	39,96 b	34,17	3,04 ab	2,23	20,99 b	21,83 b

NOTA: Médias seguidas de letras distintas na coluna no sistema e na coleta separadamente diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As gramíneas forrageiras normalmente formam um sistema radicular abundante, principalmente nas camadas superficiais do solo, e por isso têm grande potencial para incrementar o conteúdo de C no solo (PAUSTIAN et al., 2000; FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008). Sobretudo, o pastejo moderado estimula a rebrota da forrageira, que provoca a renovação da parte aérea e promove o crescimento de raízes (SOUZA et al., 2008; MORAES et al., 2014). Dessa forma, as pastagens, como as que foram manejadas nas nossas áreas (TABELA 2), podem contribuir para maiores acúmulos de C no solo pela adição de C através dos tecidos radiculares ou rizodeposição de exsudatos (WILTS et al., 2004; RASSE et al., 2005; NICOLOSO et al., 2008; SOUZA et al., 2009; ANGHINONI et al., 2013).

Em um experimento de longa duração (16 anos), as concentrações de COT e ECOT aumentaram nos sistemas que incluíam o pastejo animal na área (i.e. SIPA e pastagem permanente) em comparação ao sistema de lavoura em plantio direto, indicando que o pastejo contribuiu para elevar a MOS (SALTON et al., 2014). Entretanto, outro estudo apontou que os teores de COT e NT do solo em duas camadas (0-20 cm e 0-40 cm) não diferiram entre SIPA com pastejo moderado (i.e. altura de pastejo de 20 cm) e o sistema de lavoura sob plantio direto após nove anos (ASSMANN et al., 2014). Os autores atribuíram a combinação das condições do sistema solo-planta-animal-atmosfera (i.e. clima,

tipo de solo, quantidade e qualidade de resíduo animal e vegetal) como determinantes para os diferentes resultados encontrados entre os trabalhos.

No caso deste estudo, o sistema de L resultou em maiores teores de MOS e os sistemas de P e LP promoveram a sua manutenção, mas o sistema de LPF apresentou menores conteúdos de COT e ECOT em ambas as camadas do solo e de NT na primeira camada ($p < 0,05$) (TABELA 3). As diferenças no conteúdo de MOS nos diferentes sistemas podem estar relacionados ao desenvolvimento das raízes e à quantidade de resíduo deixado sobre o solo pela cultura de cobertura. Por outro lado, a redução da MOS no LPF pode estar relacionada ao efeito do sombreamento das árvores no acúmulo de matéria seca das forrageiras, tanto da parte aérea como no sistema radicular, sobrepondo o efeito do cultivo da aveia e do capim áries como cultura de cobertura e o primeiro ciclo de pastejo na manutenção da MOS.

Em SIPA, as espécies arbóreas adultas interceptam de parte da radiação solar incidente, diminuindo a fração de radiação que chega aos outros vegetais do sistema (SILVA et al., 2016). Além disso, o sombreamento causa alterações na assimilação de fotoassimilados das gramíneas forrageiras (PACIULLO et al., 2010), e no desenvolvimento e crescimento da biomassa aérea e do sistema radicular de pastagens, resultando em menor acúmulo de MOS (CARVALHO et al., 2010). Por exemplo, um estudo conduzido em sistema silvipastoril demonstrou a influência do sombreamento sobre o desenvolvimento de forrageiras de verão, as quais produziram 50% menos de matéria seca devido a diminuição da intensidade luminosa (SOARES et al., 2009).

Dados complementares da área experimental do NITA podem confirmar o efeito do sombreamento do eucalipto no sistema de LPF sobre o acúmulo de matéria seca da pastagem. Na safra 2016/2017, o conteúdo de palhada de inverno depositada no solo do sistema LPF foi aproximadamente 1,26 vezes menor em relação ao sistema L. Além disso, comparando os sistemas P e pecuária-floresta (PF), a aveia pastejada no inverno de 2016 no PF produziu em torno de 34% a menos de matéria seca da parte aérea em comparação ao sistema P, possivelmente pela menor quantidade de radiação interceptada.

Em outro estudo sob condições similares, comparando sistemas agrícolas de diferentes níveis de complexidade (i.e. lavoura, lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta), o sistema de LPF favoreceu a maior concentração de C no

solo em todas as camadas analisadas em relação ao sistema L, conferindo esse resultado ao efeito do pastejo após três ciclos aliado à capacidade das árvores (5 anos) em acumular C abaixo da superfície do solo (PIVA, 2012). Os dados aqui apresentados mostram a importância do estudo dos atributos da MOS no decorrer dos anos do experimento, pois é provável que um número maior de ciclos de pastejo e o porte avançado das árvores podem modificar o COT, ECOT e NT a longo prazo.

Enquanto o pastejo favoreceu o COT (TABELA 3), por outro lado, o sombreamento do eucalipto no LPF possivelmente favoreceu a qualidade do resíduo orgânico depositado no solo, resultando em menor relação C/N do solo nas duas camadas avaliadas (TABELA 5). A menor relação C/N dos resíduos pode ser explicada pela redução da biomassa em resposta ao sombreamento, em que pode incrementar a concentração de N nas plantas (GREENWOOD et al., 1990; BARRO et al., 2008; BARRO et al., 2012; LOPES et al., 2017).

Dessa forma, apesar da MOS ser a principal fonte de nutrientes e energia para os micro-organismos do solo, a relação C/N da mesma, promovida pela qualidade do resíduo vegetal, pode influenciar diretamente no funcionamento da comunidade microbiana.

4.2 ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO

O conteúdo de C presente na BM (C-BM) e o fluxo de CO₂ liberado do solo não mudaram entre os sistemas de produção em ambas as profundidades ($p > 0,05$). Em média, os valores de C-BM foram de 160,4 mg C-BM kg⁻¹ e o fluxo de CO₂ de 359,4 mg CO₂ kg⁻¹, nos primeiros 5 cm do solo, e de 69,8 mg C-BM kg⁻¹ e 178,5 mg CO₂ kg⁻¹, na camada de 5-10 cm (TABELA 4).

TABELA 4 – CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA (C-BM), FLUXO DE CO₂ DO SOLO (AOS 3 DIAS), E C MINERALIZADO ACUMULADO (24 DIAS) EM FUNÇÃO DOS SISTEMAS PRODUÇÃO LAVOURA (L), PECUÁRIA (P), LAVOURA-PECUÁRIA (LP) E LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (LPF) EM DIFERENTES MOMENTOS DE COLETA NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm E 5-10 cm. (EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PARANÁ).

FONTES DE VARIAÇÃO	C-BM (mg kg ⁻¹)		Fluxo CO ₂ (mg kg ⁻¹)		C mineralizado acumulado (mg kg ⁻¹)	
SISTEMA	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0-5 cm	5-10 cm
L	172,22	75,65	392,43	200,33	987,26 a	522,41
P	149,50	48,85	345,06	156,73	829,22 b	421,80
LP	163,36	77,21	357,63	178,65	877,99 ab	464,58
LPF	156,40	77,47	342,32	178,13	843,05 b	462,56
COLETA	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0-5 cm	5-10 cm
1	148,95	73,60 ab	340,53 b	196,45 a	779,74 c	450,54
2	155,84	83,42 a	399,83 a	188,19 a	989,14 a	511,22
3	153,22	52,37 b	337,71 a	150,75 b	884,26 b	441,75

NOTA: Médias seguidas de letras distintas na coluna no sistema e na coleta separadamente diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

A limitação de C e N orgânico no solo influencia a BM e seu funcionamento (ZHANG et al., 2005). O conteúdo e a qualidade dos resíduos orgânicos podem controlar o crescimento da BM, pois são fontes de nutrientes para os micro-organismos. Dessa forma, diferentes sistemas de produção que alteram a quantidade e a relação C/N dos resíduos podem afetar a comunidade microbiana e a sua atividade (LANDGRAF; KLOSE, 2002).

Neste estudo, a carga animal foi regulada para manter uma intensidade moderada de pastejo. Essa intensidade de pastejo em sistemas de produção contribui positivamente para o acréscimo de C orgânico do solo, pela liberação de substâncias orgânicas (e.g. exsudatos, mucilagens, secreções) por plantas, devido à constante renovação do sistema radicular (TISDALL; OADES, 1982), e pelas excretas dos animais, aumentando a disponibilidade de nutrientes para a microbiota do solo (SILVA et al., 2015). Por isso, o pastejo moderado pode estimular a atividade dos micro-organismos e também favorecer o aumento de C-BM em SIPA após ciclo de pastejo (MORAES et al., 2014; SILVA et al., 2015).

Vários trabalhos têm mostrado que o C-BM é uma variável sensível aos efeitos do manejo do solo, embora não o seja para as variações nos sistemas de rotação de culturas (KASCHUK et al., 2010). Entretanto, as semelhantes respostas de C-BM e fluxo de CO₂ do solo entre os sistemas de produção estudados indicam que essas variáveis não responderam imediatamente ao efeito do pastejo e aos diferentes níveis de COT, ECOT e NT no solo.

É importante ressaltar que as medições das variáveis neste estudo ocorreram no primeiro ciclo do experimento do NITA, e há evidências na literatura que os micro-organismos podem precisar de um prazo maior após implantação dos sistemas de produção para se adaptarem às novas condições do solo (D'ANDRÉA et al., 2002; SILVA et al., 2015). Portanto, o recente estabelecimento dos sistemas até as avaliações (4 anos) e o curto período de pastejo nos sistemas de integração podem explicar a ausência da variação desses resultados.

O C mineralizado acumulado do sistema L aumentou na camada de 0-5 cm do solo em relação aos outros sistemas de produção (TABELA 4). O C mineralizado durante 24 dias de incubação estima o C mineralizado no solo a longo prazo e pode indicar a mineralização de nutrientes no solo ao longo do tempo (FRANZLUEBBERS et al., 2000).

As diferentes relações C/N do solo nos sistemas estudados provavelmente influenciaram nas distintas respostas do qCO_2 e q_{mic} entre os sistemas, principalmente na camada de 5 a 10 cm ($p < 0,05$). Por exemplo, o sistema LPF apresentou os menores valores de relação C/N nas duas camadas do solo, mas teve o menor qCO_2 e q_{mic} mais elevado, especialmente na segunda camada (TABELA 5).

TABELA 5 – RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO (C/N) DO SOLO, QUOCIENTE METABÓLICO (qCO_2) E MICROBIANO (q_{mic}) EM FUNÇÃO DOS SISTEMAS PRODUÇÃO LAVOURA (L), PECUÁRIA (P), LAVOURA-PECUÁRIA (LP) E LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (LPF) EM DIFERENTES MOMENTOS DE COLETA NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm E 5-10 cm. (EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PARANÁ).

FONTE DE VARIAÇÃO	C/N		qCO_2		q_{mic} (%)	
SISTEMA	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0-5 cm	5-10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm
L	14,41 a	15,40 a	0,85	0,97 ab	0,34	0,20 ab
P	14,31 ab	15,19 a	0,86	1,18 a	0,35	0,15 b
LP	14,55 a	15,36 a	0,77	0,86 ab	0,38	0,22 ab
LPF	13,93 b	14,48 b	0,67	0,80 b	0,41	0,25 a
COLETA	0 - 5 cm	5 - 10 cm	0-5 cm	5-10 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm
1	14,11	14,91	0,83	0,98	0,37	0,22 ab
2	14,38	15,13	0,78	0,86	0,39	0,24 a
3	14,41	15,28	0,75	1,02	0,35	0,16 b

NOTA: Médias seguidas de letras distintas na coluna no sistema e na coleta separadamente diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Uma explicação para estas relações está no fato de que os micro-organismos produzem biomassa em função dos seus requisitos

estequiométricos (CLEVELAND; LIPTZIN, 2007), e desenvolvem estratégias de adaptação para degradar os substratos e manterem uma composição balanceada de C e nutrientes em suas células (MANZONI et al., 2012), afetando as taxas de crescimento e respiração microbiana (SINSABAUGH et al., 2013). Desse modo, quando os substratos têm teores de N menores que o necessário pelos micro-organismos, ocorre a falta de N para aumentar a biomassa microbiana. Assim, os micro-organismos gastam mais energia para mineralizar a MOS, o que promove a liberação do CO₂ pela respiração (SPOHN, 2015). Dessa forma, a elevação da relação C/N dos resíduos orgânicos incrementa a liberação de CO₂ por unidade de C-BM (i.e. aumento do qCO₂) (SPOHN; CHODAK, 2015).

Além disso, a presença de substratos de baixa qualidade no solo (i.e. alta relação C/N) para uso dos micro-organismos reduz a eficiência de conversão do COT para BM, em decorrência da incapacidade da BM em utilizar totalmente o C do solo, resultando no decréscimo do q_{mic} (LEITE et al., 2013).

Com isso, a menor relação C/N do solo causou o decréscimo do qCO₂, enquanto aumentou o q_{mic} no solo no sistema LPF. Isso indica que a comunidade microbiana do solo no LPF teve maior eficiência no uso dos substratos de C.

Elevados valores de qCO₂ podem estimular a perda de C do solo, enquanto maior q_{mic} pode aumentar o acúmulo de C no solo ao longo do tempo (ANDERSON; DOMSCH, 1989; ANDERSON; DOMSCH, 1993; SALTON et al., 2014). Nesse sentido, o menor qCO₂ e maior q_{mic} contribuem na promoção da sustentabilidade dos sistemas de produção, pois os microrganismos utilizam menores quantidades de C como energia para decompor a MOS, mineralizar nutrientes e acumulá-los na BM, portanto permanecendo mais C armazenado na MOS (SOUZA et al., 2008; BALOTA; CHAVES, 2011).

Neste estudo, o maior acúmulo de C mineralizado no solo do L (TABELA 4) pode apontar o maior potencial de mineralização de nutrientes nesse sistema em relação aos demais. Assim, mesmo os sistemas apresentando igual qCO₂ na camada de 0-5 cm do solo (TABELA 5), o sistema L teve a tendência de apresentar qCO₂ mais elevado. Isso pode indicar que o maior potencial de mineralização de nutrientes no L ocorreu na condição de ambiente mais estressante para o funcionamento dos micro-organismos, deixando-os menos eficientes no uso dos substratos, pois liberaram mais CO₂ para manter o mesmo

conteúdo de C-BM. A longo prazo isso pode resultar na redução do C-BM e menor conversão da COT para BM. Como a BM contribui para a regulação da disponibilidade dos nutrientes às plantas, imobilizando-os de forma temporária e liberando-os gradualmente, o que evita perdas por lixiviação, a sua diminuição pode prejudicar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Os dados sugerem que o aumento no nível de complexidade dos sistemas, representado pelo sistema LPF, favoreceu a eficiência da atividade microbiana e do acúmulo de BM. Isso causa uma maior estabilidade dos processos ecossistêmicos e, portanto, o sistema LPF pode ser considerada uma estratégia aos sistemas de produção para alcançar maior grau de sustentabilidade ambiental.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na interação entre sistemas de produção e momentos de coleta foi possível concluir que:

1. A comunidade microbiana e sua funcionalidade no solo dos diferentes níveis de complexidade de SIPA e sistemas especializados de lavoura e pecuária não se modificam sazonalmente.

A partir dos resultados entre os sistemas de produção foi possível concluir que:

1. Os sistemas de lavoura-pecuária e de pecuária podem manter o conteúdo de MOS presente no sistema de lavoura;
2. O aumento no nível de complexidade dos sistemas de produção parece não promover o acúmulo de C-BM e a atividade microbiana do solo;
3. Apesar do sistema de produção mais complexo, representado pelo sistema LPF, não ter acumulado maior conteúdo de MOS do que outros sistemas, a atividade da comunidade microbiana do solo parece ser mais eficiente na utilização do C orgânico do solo;
4. O sistema especializado de lavoura (L) apresenta taxas mais elevadas de C mineralizado no solo ao longo do tempo, o que pode indicar a tendência de ambiente mais estressante para o funcionamento da comunidade microbiana.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de produção da área experimental do NITA foram planejados com base em estratégias conservacionistas. Nesse caso, a adubação da aveia cultivada no inverno permitiu ótima quantidade de palhada no solo para o plantio direto, o que garante maior conteúdo de MOS no sistema L. Além disso, os semelhantes conteúdos de MOS do P e LP em relação ao L pode indicar que a presença de animais no sistema de produção contribui para manter o mesmo nível de MOS, o que é positivo para a manutenção da produtividade e sustentabilidade do sistema.

Quando o componente arbóreo é incluído no sistema, representado pelo LPF, o efeito do sombreamento do eucalipto com 3 anos reduz a quantidade de MOS. É possível que a adição de resíduos florestais aliada ao efeito do pastejo no LPF seja incapaz de aumentar ou manter a MOS a curto prazo. Assim, o menor acúmulo de MOS pode trazer impactos negativos ao ecossistema, por ser um atributo regulador das condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Um fato aparentemente contraditório é que o fluxo de CO₂ do solo e o C-BM, parâmetros indicadores da qualidade do solo, não responderam ao conteúdo de MOS e, assim, permaneceram iguais entre os sistemas de produção. Além disso, os dados apontam que possivelmente a mineralização e reservatório de nutrientes no solo não se alteram entre sistemas com recente estabelecimento. Entretanto, o aumento da complexidade dos sistemas permite a melhoria na qualidade dos resíduos deixados no solo, o que afeta positivamente o funcionamento dos micro-organismos, contribuindo para a sustentabilidade das atividades agrícolas.

Dessa forma, considerando que o sistema mais complexo (i.e. LPF) apresenta a microbiota do solo mais eficiente no uso e conversão do C da MOS, é possível dizer que o aumento no nível de complexidade pode ser uma opção para os sistemas se tornarem mais estáveis. A maior eficiência da atividade microbiana do solo indica que a mineralização de nutrientes e o acúmulo de BM acontece de forma mais sustentável ao sistema, pois o C orgânico está sendo mantido no solo. Isso traz benefícios ao meio ambiente, promove serviços ecossistêmicos e vantagens econômicas aos produtores.

Além disso, os sistemas mais complexos geram diversificação de renda ao produtor e menor necessidade de uso de insumos externos, devido à maior estabilidade, o que provoca redução de custos a longo prazo e também de riscos ambientais. Portanto, especialmente em áreas de APA, a adoção de SIPA mais complexos pode ser uma alternativa vantajosa para garantir a proteção ambiental e a produtividade dos sistemas.

Como o experimento foi conduzido em uma APA, a comunidade microbiana não foi perturbada pela aplicação de fungicidas, herbicidas e inseticidas, que podem desequilibrar o ciclo de vida da microbiota. Isso significa que as respostas dos micro-organismos do solo acontecem em função das interações entre os componentes dos sistemas, o que demonstra a relevância dos resultados desse trabalho.

Finalmente, cabe ressaltar a importância da condução das avaliações nos próximos anos do experimento para confirmar esse padrão de comportamento de sistemas mais complexos. Pois, mais ciclos de pastejo, o maior porte das árvores e o aporte diferenciado de MOS ao longo do tempo nos diferentes sistemas, podem influenciar no funcionamento e desenvolvimento dos micro-organismos do solo, o que pode modificar o grau de sustentabilidade do sistema.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, n. 3, p. 215-221, 1978.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 21, p. 471-479, 1989.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. In: ARAÚJO, A. P.; AVELAR, B. J. R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: UFV, 2013. p. 221-278.
- ARAUJO, A. S. F.; LEITE, L. F. C.; IWATA, B. F.; LIRA, M. A.; XAVIER, G. R.; FIGUEIREDO, M. V. B. Microbiological process in agroforestry systems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 215-226, 2012.
- ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. Soil microbial biomass in organic farming system. **Ciência Rural**, v. 40, n.11, p. 2419-2426, 2010.
- ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. A.; CECAGNO, D.; CARLOS, F. S.; CARVALHO, P. C. F. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 52–59, 2014.
- BABUJIA, L.C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BROOKES, P.C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 2174-2181, 2010.
- BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Microbial activity in soil cultivated with different summer legumes in coffee crop. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, v. 54, n. 1, p. 35-44, 2011.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; FONSECA, S. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em sequência de idades. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 611-619, 2008.
- BARRO, R. S.; SAIBRO, J. C.; MEDEIROS, R. B.; SILVA, J. L. S.; VARELLA, A. C. Rendimento de forragem e valor nutritivo de gramíneas anuais de estação fria submetidas a sombreamento por *Pinus elliottii* e ao sol pleno. **R. Bras. Zootec.**, v. 37, n. 10, p. 1721-1727, 2008.

BARRO, R. S.; VARELLA, A. C.; LEMAIRE, G.; MEDEIROS, R. B.; SAIBRO, J. C.; NABINGER, C.; BANGEL, F. V.; CARASSAI, I. J. Forage yield and nitrogen nutrition dynamics of warm-season native forage genotypes under two shading levels and in full sunlight. **R. Bras. Zootec.**, v. 41, n. 7, p. 1589-1597, 2012.

BOT, A.; BENITES, J. The importance of soil organic matter key to drought-resistant soil and sustained crop production. **FAO soils bulletin**, 2005.

CAMPBELL, C.A.; BIEDERBECK, V.O.; ZENTNER, R.P. & LAFOND, G.P. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin black Chernozem. **Can. J. Soil Sci.**, v. 71, p. 363-376, 1991.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 110, p. 175–186, 2010.

CARVALHO, P. C. F.; BARRO, R. S.; KUNRATH, T. R.; SILVA, F. D.; BARTHNETO, A.; SAVIAN, J. V.; PFEIFER, F. M.; TISCHLER, M. R.; ANGHINONI, I. Experiências de integração lavoura-pecuária no rio grande do sul. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 3., 2011, Pato Branco. **Anais ... Pato Branco: UTFPR**, 2011.

CHÁVEZ, L. F.; ESCOBAR, L. F.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; MEURER, E. J. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1254–1261, 2011.

CHEN, G.; ZHU, H.; ZHANG, Y. Soil microbial activities and carbon and nitrogen fixation. **Research in Microbiology**, v. 154, p. 393–398, 2003.

CHENG F.; PENG, X.; ZHAO, P.; YUAN, J.; ZHONG, C.; CHENG, Y.; CUI, C.; ZHANG, S. Soil Microbial Biomass, Basal Respiration and Enzyme Activity of Main Forest Types in the Qinling Mountains. **Plos One**, v. 8, n. 6, 2013.

CHIVENGE, P. P.; MURWIRA, H. K.; GILLER, K. E.; MAPFUMO, P.; SIX, J. Long-term impact of reduced tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implications for conservation agriculture on contrasting soils. **Soil & Tillage Research**, n. 94, p. 328–337, 2007.

CLEVELAND, C. C.; LIPTZIN, D. C:N:P stoichiometry in soil: is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass? **Biogeochemistry**, v. 85, p. 235–252, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFSRS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS/NRS, 2004.

COTRUFO, M. F.; SOONG, J. L.; HORTON, A. J.; CAMPBELL, E. E.; HADDIX, M. L.; WALL, D. H.; PARTON, W. J. Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. **Nature Geoscience**, v. 8, p. 776–779, 2015.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - Atributos biológicos do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 913-923, 2002.

DWIVEDI, V.; SONI, P. A review on the role of soil microbial biomass in eco-restoration of degraded ecosystem with special reference to mining areas. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 3, n. 1, p. 151-158, 2011.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R. L.; HONEYCUTT, C. H.; SCHOMBERG, H. H.; HONS, F. M. Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 64, p. 613–623, 2000.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Bermudagrass Management in the Southern Piedmont USA. III. Particulate and biologically active soil carbon. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 67, p. 132–138, 2003.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R. L. Flush of CO₂ as a Soil Biological Quality Indicator. **Proceedings of the 17th Conference of the International Soil Tillage Research Organization**, p. 736-740, 2006.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Early response of soil organic fractions to tillage and integrated crop-livestock production. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, p. 613-625, 2008.

FRANZLUEBBERS, A. J. Should Soil Testing Services Measure Soil Biological Activity? **Agric. Environ. Lett.**, v. 1, n. 1, 2016.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais & Subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.159-170.

GE, S.; XU, H.; JI, M.; JIANG, Y. Characteristics of Soil Organic Carbon, Total Nitrogen, and C/N Ratio in Chinese Apple Orchards. **Open Journal of Soil Science**, v. 3, p. 213-217, 2013.

GREENWOOD, D. J.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETESON, J. J. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. **Annals of Botany**, v. 66, n. 4, p. 425-436, 1990.

GROVER, M.; MAHESWARI, M.; DESAI, S.; GOPINATH, K. A.; VENKATESWARLU, B. Elevated CO₂: Plant associated microorganisms and carbon sequestration. **Applied Soil Ecology**, v. 95, p. 73-85, 2015.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; SILVA, T. O.; SILVA, T. L.; DIAS, N. S.; MATIAS, M. I. S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil & Tillage Research**, v. 126, p. 177–182, 2013.

HAGERTY, S. B.; GROENIGEN, K. J.; ALLISON, S. D.; HUNGATE, B. A.; SCHWARTZ, E.; KOCH, J. W.; KOLKA, R. K.; DIJKSTRA, P. Accelerated microbial turnover but constant growth efficiency with warming in soil. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 903-906, 2014.

HANEY, R. L.; BRINTON, W. H.; EVANS, E. Estimating soil carbon, nitrogen, and phosphorus mineralization from short-term carbon dioxide respiration. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, p. 2706–2720, 2008.

HINSINGER, P.; BENGOUGH, A. G.; VETTERLEIN, D.; YOUNG, I. M. Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. **Plant Soil**, v. 321, p. 117-152, 2009.

JENKINSON D. S, LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL E. A, LADD J. M. **Soil biochemistry**, vol 5. New York: Decker, 1981. p. 415–471.

KALLENBACH, C. M.; GRANDY, A. S.; FREY, S. D.; DIEFENDORF, A. F. Microbial physiology and necromass regulate agricultural soil carbon accumulation. **Soil Biology & Biochemistry**, n. 91, p. 279-290, 2015.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1-13, 2010.

KAUR, B.; GUPTA, S. R.; SINGH, G. Soil carbon, microbial activity and nitrogen availability in agroforestry systems on moderately alkaline soils in northern India. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 283–294, 2000.

KELL, D. B. Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how. **Philosophical transactions of the Royal Society of London**, v. 367, p. 1589–1597, 2012.

LANDGRAF, D.; KLOSE, S. Mobile and readily available C and N fractions and their relationship to microbial biomass and selected enzyme activities in a sandy

soil under different management systems. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, v. 165, p. 9-16, 2002.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P.; COSTA, C. N.; FERREIRA, J. S.; NETO, M. R. H. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 17, n. 12, p.1257–1263, 2013.

LOPES, C. M.; PACIULLO, D. S. C.; ARAÚJO, S. A. C.; GOMIDE, C. A. M.; MORENZ, M. J. F.; VILLELA, S. D. J. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 69, n. 1, p. 225-233, 2017.

LORENZ, K.; LAL, R. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 2, p. 443-454, 2014.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2153-2168, 2013.

MALIK, M. A.; KHAN, K. S.; MARSCHNER, P.; FAYYAZ-UL-HASSAN. Microbial biomass, nutrient availability and nutrient uptake by wheat in two soils with organic amendments. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 13, n. 4, p. 955-966, 2013.

MANZONI, S.; TAYLOR, P.; RICHTER, A.; PORPORATO, A.; AGREN, G. I. Environmental and stoichiometric controls on microbial carbon-use efficiency in soils. **New Phytologist**, v. 196, p. 79–91, 2012.

McDANIEL, M. D.; TIEMANN, L. K.; GRANDY, A. S. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. **Ecological Applications**, v. 24, n. 3, p. 560–570, 2014.

McGILL, W. B.; CHRISTIE, E. K. Biogeochemical aspects of nutrient cycle interactions in soils and organisms, In: BOLIN, B.; COOK, R. B., **The major biogeochemical cycles and their interactions**. New York: John Wiley & Sons, 1983. p. 271-301.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, S. E. V. G. A; KUNRATH, T. R. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **Europ. J. Agronomy**, v. 57, p. 4-9, 2014.

MORAES, A.; PIVA, J. T.; SARTOR, L. R.; CARVALHO, P. C. F. Avanços científicos em integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 3., 2011, Pato Branco. **Anais ...** Pato Branco: UTFPR, 2011.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNACIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6., 1952, Pensylvania. **Proceedings...** Pensylvania: State College, 1952. p.1380-1395.

NICODEMO, M. L. F. Uso de biomassa microbiana para avaliação de qualidade do solo em sistemas silvipastoris. **Embrapa Pecuária Sudeste**, 2009.

NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M. E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 32, n. 6, p. 2425-2433, 2008.

PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T.; GOMIDE, C. A. M.; FERNANDES, P. B.; ROCHA, W. S. D.; MÜLLER, M. D.; ROSSIELLO, R. O. P. Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. **Sci. Agric.**, v. 67, n. 5, p. 598-603, 2010.

PARANÁ. Decreto Nº 2200, de 12 de junho de 2000. **Acresce o nome do município de Campina Grande do Sul na redação, do Decreto Estadual nº 1753, de 06/05/96 e aprova o Zoneamento Ecológico-Econômico da Área de Proteção Ambiental do Iraí - APA DO IRAÍ**. Curitiba. Diário Oficial Nº 5763 de 14 junho 2000.

PAUSTIAN¹; K.; SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; HUNT, H. W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, v. 48, p. 147–163, 2000.

PEREIRA, J. M.; BARETTA, D.; BINI, D.; VASCONCELLOS, R. L. F.; CARDOSO, E. J. B. N. Relationships between microbial activity and soil physical and chemical properties in native and reforested *Araucaria angustifolia* forests in the state of São Paulo, Brazil. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 37, p. 572-586, 2013.

PIVA, J. T. **Fluxo de gases de efeito estufa e estoque de carbono do solo em sistemas integrados de produção no sub trópico brasileiro**. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PRIYANKA, K.; ANSHUMALI. Soil carbon: an overview on soil carbon function and its fractionation. **Curr. World Environ.**, v. 11, n. 1, p. 178-185, 2016.

RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. Is soil carbon mostly root carbon? **Mechanisms for a specific stabilization**. Plant and Soil, v. 269, p. 341–356, 2005.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, n. 190, p. 70–79, 2014.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; MAIA, L. C. Limitações no cálculo da biomassa microbiana determinada pelo método da fumigação em solos com adição recente de substrato orgânico (14C). **R. Bras. Ci. Solo**, v. 10, p. 31-35, 1986.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M. Produção do milho sob sombreamento de eucalipto em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 54-62, 2016.

SILVA, A. S.; COLOZZI FILHO, A.; NAKATANI, A. S.; ALVES, S. J.; ANDRADE, D. S.; GUIMARÃES, M. F. Microbial characteristics of soils under an integrated crop-livestock system. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 39, p. 40-48, 2015.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Seropédica: Embrapa Agroecologia, 2007. 4 p. Comunicado Técnico.

SINSABAUGH, R. L.; MANZONI, S.; MOORHEAD, D. L.; RICHTER, A. Carbon use efficiency of microbial communities: stoichiometry, methodology and modelling. **Ecology Letters**, v. 16, p. 930–939, 2013.

SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **R. Bras. Zootec.**, v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009.

SOUZA, E. D.; ANDRADE COSTA, S. E. V. G.; LIMA, C. V. S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1273-1282, 2008.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1829-1836, 2009.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Aust. J. Soil Res.**, v. 30, p. 195-207, 1992.

SPOHN, M. Microbial respiration per unit microbial biomass depends on litter layer carbon-to-nitrogen ratio. **Biogeosciences**, v. 12, p. 817–823, 2015.

SPOHN, M.; CHODAK, M. Microbial respiration per unit biomass increases with carbon-to-nutrient ratios in forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 81, p. 128-133, 2015.

SPOHN, M.; KLAUS, K.; WANEK, W.; RICHTER, A. Microbial carbon use efficiency and biomass turnover times depending on soil depth e Implications for carbon cycling. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 96, p. 74-81, 2016.

SUGAMOSTO, M.L. Uso de técnicas de Geoprocessamento para elaboração do Mapa de Aptidão Agrícola e Avaliação da Adequação de Uso do Centro de Estações Experimentais do Canguiri, Município de Pinhais-Paraná. Curitiba: UFPR, 2002. **Dissertação**. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, v. 371, p. 783 – 785, 1994.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal Soil Science**, v. 33, p. 141–163, 1982.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987.

VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; FANTE JR, L.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Root systems and soil microbial biomass under no-tillage system. **Sci. Agric**, v. 61, n. 5, p. 529-537, 2004.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; ALVARENGA, R. C. Organic-matter pools of soil under pines and annual cultures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, n. 14, p.1707-1722, 2010.

WILTS, A. R.; REICOSKY, D. C.; ALLMARAS, R. R.; CLAPP, C. E. Long-term corn residue effects: harvest alternatives, soil carbon turnover, and root-derived carbon. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 68, p. 1342–1351, 2004.

ZHANG, J.; GUO, J.; CHEN, G.; QIAN, W. Soil microbial biomass and its controls. **Journal of Forestry Research**, v. 16, n. 4, p. 327-330, 2005.

APÊNDICES

- APÊNDICE 1 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR..... 55
- APÊNDICE 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR..... 55
- APÊNDICE 3 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA NITROGÊNIO TOTAL DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR..... 55
- APÊNDICE 4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA NITROGÊNIO TOTAL DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR..... 55
- APÊNDICE 5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR..... 56
- APÊNDICE 6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm,

EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR	56
APÊNDICE 7 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.....	56
APÊNDICE 8 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.....	56
APÊNDICE 9 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA FLUXO DE CO ₂ DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.....	57
APÊNDICE 10 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA FLUXO DE CO ₂ DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.....	57
APÊNDICE 11 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO MINERALIZADO ACUMULADO NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.....	57

- APÊNDICE 12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO MINERALIZADO ACUMULADO NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR..... 58
- APÊNDICE 13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA RELAÇÃO C/N DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR..... 58
- APÊNDICE 14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA RELAÇÃO C/N DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR..... 58
- APÊNDICE 15 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR..... 59
- APÊNDICE 16 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR..... 59
- APÊNDICE 17 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA QUOCIENTE MICROBIANO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO

TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.....	59
--	----

APÊNDICE 18 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA QUOCIENTE MICROBIANO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.....	59
--	----

APÊNDICE 1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p	
Bloco	2	516,57	258,284	18,4564	0,00002	
Sistema	3	360,26	120,087	8,5811	0,00058	*
Coleta	2	162,19	81,096	5,7949	0,00951	*
Sistema x Coleta	6	22,24	3,706	0,2648	0,94749	
Resíduo	22	307,87	13,994			

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p	
Bloco	2	421,57	210,787	29,6038	0,00000	
Sistema	3	99,36	33,122	4,6517	0,01152	*
Coleta	2	2,63	1,316	0,1848	0,83254	
Sistema x Coleta	6	8,14	1,356	0,1904	0,97629	
Resíduo	22	156,65	7,12			

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA NITROGÊNIO TOTAL DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p	
Bloco	2	2,1676	1,08378	14,1812	0,00011	
Sistema	3	1,2949	0,43162	5,6477	0,00502	*
Coleta	2	0,5550	0,27748	3,6308	0,04339	*
Sistema x Coleta	6	0,0686	0,01144	0,1496	0,98717	
Resíduo	22	1,6813	0,07642			

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA NITROGÊNIO TOTAL DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p	
Bloco	2	1,65675	0,82838	23,0391	0,00000	
Sistema	3	0,17541	0,05847	1,6262	0,21204	
Coleta	2	0,0249	0,01245	0,3461	0,71119	
Sistema x Coleta	6	0,08422	0,01404	0,3904	0,87722	
Resíduo	22	0,79101	0,03596			

NOTA: ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	47,93	23,963	4,3657	0,02531
Sistema	3	92,90	30,967	5,6416	0,00504 *
Coleta	2	262,58	131,288	23,9184	0,00000 *
Sistema x Coleta	6	12,49	2,082	0,3794	0,88424
Resíduo	22	120,76	5,489		

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	71,41	35,706	12,9599	0,00019
Sistema	3	58,25	19,415	7,0470	0,00171 *
Coleta	2	144,26	72,128	26,1799	0,00000 *
Sistema x Coleta	6	13,48	2,247	0,8157	0,56932
Resíduo	22	60,61	2,755		

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	6987	3493,5	1,301115	0,29236
Sistema	3	2549	849,5	0,31641	0,81335
Coleta	2	4737	2368,7	0,88224	0,42799
Sistema x Coleta	6	42337	7056,2	2,6281	0,04478
Resíduo	22	59068	2684,9		

NOTA: ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	1160,8	580,42	0,9508	0,40174
Sistema	3	5280,5	1760,18	2,8834	0,05877
Coleta	2	6044,1	3022,05	4,9506	0,01678
Sistema x Coleta	6	4954,1	825,69	1,3526	0,27689
Resíduo	22	13429,8	610,44		

NOTA: ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA FLUXO DE CO₂ DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	8210	4104,9	1,7125	0,20360
Sistema	3	14322	4774,1	1,9917	0,14466
Coleta	2	29529	14764,3	6,1594	0,00751 *
Sistema x Coleta	6	5237	906,2	0,3780	0,88508
Resíduo	22	52735	2397,0		

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA FLUXO DE CO₂ DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	2238	1369,1	1,2575	0,30402
Sistema	3	8556	2851,9	2,6194	0,07632
Coleta	2	14233	7116,3	6,5361	0,00592 *
Sistema x Coleta	6	4361	726,8	0,6676	0,67662
Resíduo	22	23953,0	1088,8		

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO MINERALIZADO ACUMULADO NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	6162	3081	0,3123	0,73494
Sistema	3	138392	46131	4,6761	0,01128 *
Coleta	2	263097	131548	13,3345	0,00016 *
Sistema x Coleta	6	71501	11917	1,208	0,33927
Resíduo	22	217036	9865		

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 12 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CARBONO MINERALIZADO ACUMULADO NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	15953	7976,6	1,42358	0,26218
Sistema	3	46226	15408,7	2,74996	0,06703
Coleta	2	34339	17169,3	3,06418	0,06700
Sistema x Coleta	6	13978	2329,7	0,41578	0,86055
Resíduo	22	123271	5603,2		

NOTA: ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 13 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA RELAÇÃO C/N DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	0,4083	0,20413	1,6514	0,21468
Sistema	3	1,8893	0,62978	5,0948	0,00790 *
Coleta	2	0,6299	0,31996	2,5884	0,09783
Sistema x Coleta	6	0,5576	0,09293	0,7518	0,61467
Resíduo	22	2,7194	0,12361		

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 14 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA RELAÇÃO C/N DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	0,988	0,49401	3,2341	0,05871
Sistema	3	4,9971	1,66569	10,9045	0,00014 *
Coleta	2	0,8354	0,4177	2,7325	0,08687
Sistema x Coleta	6	0,656	0,10933	0,7157	0,64096
Resíduo	22	3,3606	0,15275		

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 15 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	0,00774	0,003868	0,05258	0,94890
Sistema	3	0,21501	0,071669	0,97419	0,42274
Coleta	2	0,03746	0,01873	0,2546	0,77748
Sistema x Coleta	6	0,38797	0,064662	0,87893	0,52632
Resíduo	22	1,61850	0,073568		

NOTA: ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 16 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	0,5675	0,283729	4,1043	0,03056
Sistema	3	0,7451	0,248377	3,5929	0,02981 *
Coleta	2	0,1668	0,083386	1,2062	0,31836
Sistema x Coleta	6	0,6226	0,103763	1,501	0,22405
Resíduo	22	1,5208	0,069129		

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA QUOCIENTE MICROBIANO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 5 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	0,07689	0,038443	2,257	0,12836
Sistema	3	0,024118	0,008059	0,47313	0,70413
Coleta	2	0,01064	0,005319	0,31225	0,73499
Sistema x Coleta	6	0,2388	0,039799	2,33663	0,06743
Resíduo	22	0,37472	0,017033		

NOTA: ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.

APÊNDICE 18 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA QUOCIENTE MICROBIANO DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, EXPERIMENTO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM AGROPECUÁRIA/NITA, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO CANGUIRI, PINHAIS-PR.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	p
Bloco	2	0,007078	0,0035388	0,7328	0,49192
Sistema	3	0,050443	0,0168143	3,4819	0,03308 *
Coleta	2	0,042512	0,0212560	4,4016	0,02467 *
Sistema x Coleta	6	0,036474	0,0060789	1,2588	0,31603
Resíduo	22	0,10624	0,0048291		

NOTA: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ¹ Graus de Liberdade; ² Soma de Quadrados; ³ Quadrado Médio.